

MANUAL DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS DE BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO. REGIÓN LITORAL ARGENTINA.

Autores: Ings. Jorge A. PÁRAMO* y Rosana B. CASSAN*

(*) Laboratorio Vial del Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE) - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura - Universidad Nacional de Rosario - Argentina.
TE: 0341-480-8538/8539 FAX: 0341-4808540

Resumen

En este trabajo, los autores presentan un procedimiento de diseño para calles y caminos de bajo volumen tránsito. El mismo ofrece al proyectista una gama de estructuras tipo catálogo. La selección se basa en las características del suelo del lugar, el tránsito y las condiciones de drenaje del camino. Se incluye una serie de recomendaciones sobre los materiales a utilizar, orientación sobre dosajes y procedimientos constructivos.

Se fundamenta en desarrollos y experiencias realizados, principalmente, por el Laboratorio Vial del Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras de la UNR. El estudio de soluciones para calles y caminos de bajo volumen de tránsito es uno de los temas de investigación del mismo, desde hace más de quince años.

Para la concreción de este manual, se ha llevado a cabo una intensa y detallada labor. Una etapa significativa fue la dosificación y caracterización en laboratorio, de una importante cantidad de mezclas, habiéndose priorizado la utilización de materiales y desechos industriales locales. Otra etapa se orientó al desarrollo de soluciones que brindaran transitabilidad permanente a calles y caminos de bajo volumen de tránsito. Finalmente, la verificación del comportamiento en servicio, se llevó a cabo mediante la construcción de tramos experimentales y el seguimiento de secciones de caminos cuya construcción fue supervisada por el Laboratorio.

Complementariamente y como tarea inherente al quehacer universitario, se produjo una continua transferencia de tecnología al medio.

Se espera que este manual contribuya a la difusión de los distintos tipos de soluciones y aporte a una mejora de la calidad de vida de los habitantes.

1. INTRODUCCIÓN

La región litoral argentina comprende una gran extensión territorial. En ella se desarrolla preponderantemente la producción agroganadera e industrial del país. La mayor parte de la infraestructura básica de transporte, la constituye una basta red de caminos y calles de calzadas naturales. La circulación vehicular depende esencialmente de factores climáticos favorables.

La inestabilidad de las calzadas naturales limita severamente el tránsito. Como consecuencia, se ven resentidos aspectos sociales y económicos, tales como educación, salud, recreación y los derivados de la propia actividad productiva. Estas perturbaciones, alcanzan dimensiones insospechadas cuando se las vincula a migraciones internas, limitaciones en la aplicación de tecnologías, restricciones para el acceso a nuevos o más amplios mercados, por mencionar sólo algunos aspectos.

Este trabajo centra la atención en uno de los elementos primarios de las dificultades: la condicionalidad para el tránsito en las calzadas naturales de la región. Brinda un encuadre conceptual del problema, un procedimiento para abordarlo y un espectro de posibles soluciones técnicas, basadas en desarrollos de tecnología y experiencias realizadas.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este manual es brindar al proyectista una herramienta simple y de sencillo acceso para el diseño de pavimentos en calles y caminos de bajo volumen de tránsito.

Se presenta una gama de estructuras tipo catálogo. La selección se basa en las características del suelo del lugar, el tránsito y las condiciones de drenaje del camino.

En el capítulo dedicado a los materiales, se incluyen una serie de recomendaciones sobre el ámbito de aplicación de cada uno de los mejorados y estabilizados propuestos en las estructuras, dosajes tentativos y procedimientos constructivos.

Todas las estructuras planteadas en este manual, corresponden a calzadas de aplicación en el ámbito rural. En ellas no se contempla la ejecución de cubiertas paliativas de polvo. No obstante se incluye en el capítulo materiales, un punto dedicado a este tipo de cubiertas; en él se plantean distintas soluciones y sus dosajes tentativos. Además, en el capítulo diseño estructural, se realiza una serie de comentarios sobre el traslado de estas soluciones al ámbito urbano.

3. HIPÓTESIS DE DISEÑO

3.1. Lineamientos Básicos para el Diseño

Las hipótesis en que debe encuadrarse la metodología que provea de adecuada solución técnica y económica debe contemplar mínimamente los siguientes aspectos:

- U BAJO COSTO INICIAL DE LA ESTRUCTURA**
- U TRANSITABILIDAD BAJO CUALQUIER CONDICIÓN CLIMÁTICA**
- U CONSERVACIÓN SIMPLE Y DE BAJO COSTO**

Ellas reúnen tres elementos conceptuales que marcan definitivamente el rumbo a seguir. En efecto, el costo de las estructuras en relación al bajo tránsito, inhabilita la aplicación de soluciones que son clásicas para caminos de orden superior. Por otra parte, dado el volumen de materiales que requiere la construcción de un camino, el **bajo costo inicial** necesariamente debe vincularse a la utilización de los suelos existentes en el mismo, insensibilizándolos a la acción deteriorante del agua. Esto da lugar a la construcción de estructuras compuestas por distintos estabilizados que garanticen la **transitabilidad permanente**. En tanto que la hipótesis vinculada a la **conservación** resulta tan

importante como las precedentes, en razón de las magnitudes económicas puestas en juego y la necesidad de preservar las inversiones practicadas.

Estas hipótesis son las **mínimas expresiones** para las **acciones mejorativas** a practicar. Cuando el objetivo de transitabilidad permanente ha sido alcanzado, pueden adicionarse otras. Ello da lugar a la **construcción por etapas**, consistente en realizar mejoras progresivas.

3.2. Período de Diseño

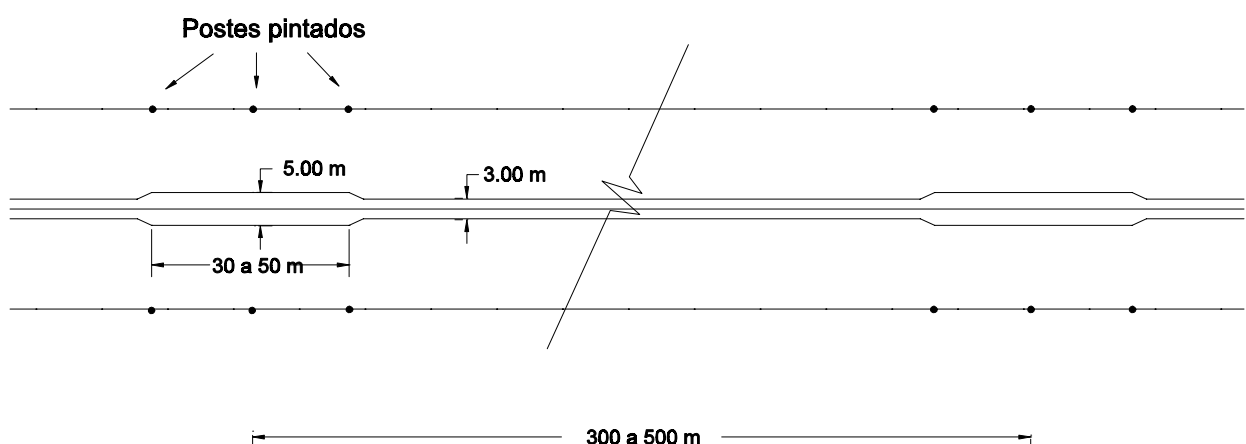
Las experiencias sobre las que se han hecho seguimientos, datan de 17/18 años, las mismas corresponden a tramos ejecutados en Rosario y su zona de influencia a partir de 1977. Sobre ellas se han practicado mantenimientos de distinta índole y construcción por etapas. La diversidad de soluciones hace difícil establecer parámetros confiables sobre períodos de diseño. No obstante varias de ellas, practicadas mediante estabilización de suelos con arenas de escorias, permiten dar una idea sobre tiempos. Las primeras intervenciones de significación, fuera de los mantenimientos de rutina como perfilados con motoniveladora, han tenido lugar entre 4 y 9 años.

Sobre la base de ello y al solo efecto de establecer un **período de diseño tentativo**, puede considerarse **de 5 a 6 años** como una asignación razonable. Este lapso de tiempo no significa que la estructura haya alcanzado el final de su vida de servicio. Implica que a partir de ese momento, las mejoras a practicar, trascienden las meras operaciones de mantenimiento rutinario. En tales casos, el **valor residual** de cada estructura será función de una suma de factores. Ellos se derivan de las características de los materiales, de las sollicitaciones del tránsito y el clima, de la historia y secuencia de los mantenimientos rutinarios y de las condiciones ambientales

4. ASPECTOS GEOMÉTRICOS

4.1. Planimetría

Los bajos volúmenes de tránsito, no justifican mejoras planimétricas que demanden expropiaciones lentas y costosas. Es por ello que generalmente se mantienen los anchos y la geometría de la zona de camino existente y los radios de curvas horizontales.



El ancho de la calzada estabilizada en cambio, puede ser objeto de un tratamiento diferencial. El bajo volumen de tránsito, sugiere la estabilización de los suelos en **una sola trocha centrada, de un ancho de 3 m**. En tales casos es conveniente producir ensanches del orden de 5 a 6 m, con un espaciamiento regular y en una longitud comprendida entre 30 y 50 m. Estos ensanches se emplean para el sobrepaso o cruce de vehículos en días en que el resto de la calzada no permita la circulación segura.

Por lo general el sector estabilizado, no se distingue fácilmente del suelo natural. En tales casos los sectores ensanchados deben ser señalados convenientemente. Una posibilidad consiste en pintar los postes de los alambrados linderos e interponer carteles entre los hilos del mismo.

4.2. Altimetría

Los aspectos altimétricos se encuentran condicionados al drenaje de la zona de camino. Previo a las mejoras de la calzada, deben ejecutarse los **alteaos necesarios** para producir el **saneamiento hidráulico**.

La adquisición de datos sobre sectores anegadizos, puede lograrse a través de encuestas con los usuarios habituales del camino. Los cuestionarios deben contemplar como mínimo la identificación de los sectores de paso condicional, vale decir, aquellos en los que se acumula agua sobre la calzada o, el tenor de humedad que adquieren, hace dificultoso el tránsito.

En ocasiones se observan alcantarillas transversales en donde el terraplén aledaño ha sido erosionado o bien no se construyó adecuadamente. Estos casos se convierten en verdaderos lomos de burro, que pueden comprometer la seguridad en la circulación. Otros casos se vinculan a accesos a propiedades que por diferencia de nivel producen un brusco cambio del perfil transversal. En consecuencia es conveniente procurar suavizar los accesos a alcantarillas transversales y a los accesos laterales, antes de toda mejora de la calzada.

4.3. Perfil Transversal de la Calzada

Las **pendientes transversales** se encuentran limitadas. Por una parte en sus **valores máximos**, del orden del 6%, debido a condiciones de seguridad del tránsito y a las características erosivas de la superficie. Los **valores mínimos** (2 a 3%) evitan la permanencia de agua en la calzada que pueda dificultar el tránsito de vehículos en condiciones climáticas adversas.

5. TRÁNSITO

Las consideraciones de diseño de las mejoras que posibilitan la transitabilidad permanente, demandan la determinación de las **características del tránsito** que circulará por el camino.

La ponderación de la variable tránsito en caminos de la red terciaria es dificultosa y en casos compleja. Requiere considerar los siguientes factores:

- Número de pobladores a los que sirve en forma directa el camino.
- Producción rural canalizada por el camino existente, antes de la mejora.
- Número, tipo de vehículo de transporte y pesos.
- Velocidades medias de circulación.


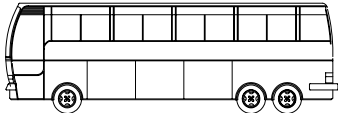

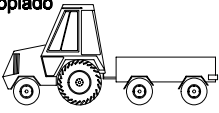
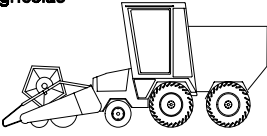
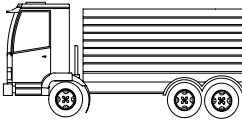
La cuantificación del tránsito, es conveniente realizarla mediante un adecuado relevamiento de información en la zona de influencia de la obra. La densidad demográfica junto a los volúmenes de producción anual, son elementos de acceso relativamente sencillo para aportar a la cuantificación del tránsito. Otros medios no menos significativos consisten en realizar censos volumétricos, de origen y destino, encuestas a lugareños, productores, registros de porte bruto en los vehículos de carga, consultas a municipalidades, comunas, entidades intermedias, acopiadores y/o cooperativas.

Una adecuada prognosis del tránsito permite establecer en forma confiable el alcance de las mejoras, las secuencias y la oportunidad de la construcción. Si el **crecimiento del tránsito** y los indicadores económicos lo aconsejan, la mejora podrá pasar a formar parte de la estructura de un pavimento de mayor jerarquía, dando lugar a la **construcción por etapas**.

5.1. Categorización del Tránsito

A los efectos de caracterizar el **tránsito de diseño**, se ha previsto una clasificación simplificada de los **vehículos en livianos y pesados**. Se establecen distintas categorías de tránsito en función del **número diario de vehículos** que circulan antes de producir la mejora.

CATEGORIZACIÓN DEL TRÁNSITO		
Nº diario de vehículos	Vehículos pesados	Categoría
0 - 50	< 5%	T1
0 - 50	5% - 20%	T2
0 - 50	> 20%	T3

VEHICULOS LIVIANOS	VEHICULOS PESADOS
Automóviles 	Omnibus 
Camionetas 	Tractores con acoplado 
Máquinas agrícolas 	Camiones 

6. SUBRASANTE

La subrasante es la superficie del terreno, sobre la cual se apoya la mejora a realizar. En las calles y caminos de bajo volumen de tránsito, **está compuesta por el suelo de la traza**. Excepción hecha de algunas mejoras altimétricas de terraplenamientos con suelos transportados de otros lugares.

Las características de estos suelos, como su granulometría, sensibilidad al agua, etc., son algunos de los factores que determinan el alcance de las mejoras a realizar. Es por ello que a los fines del diseño estructural, resulta necesario conocerlos y evaluarlos.

Si bien existen distintos métodos y ensayos para realizar una evaluación de los suelos, se ha optado por el método H.R.B. (Highway Research Board) tanto por la información que brinda como por la sencillez de los ensayos. No se descarta la realización de otros, como penetración in situ mediante el DCP (penetrómetro dinámico de cono) o valor soporte en laboratorio, los que brindan una importante información adicional.

6.1. Categorización de la Subrasante

En la región, prevalecen los suelos arcillosos y arcillo limosos. Se caracterizan por la pérdida de capacidad portante cuando aumenta el contenido de humedad. En estado de saturación se produce la formación de barro con la consecuente inestabilidad para soportar las cargas del tránsito.

La clasificación de los suelos se realiza en laboratorio, para lo cual se procede a la extracción de muestras. A tales efectos, se realiza una primera inspección visual para valorar la homogeneidad del tramo. Se determina la existencia de zonas heterogéneas o contaminadas con otros materiales. De resultar homogéneo el tramo, se extraerá como mínimo una muestra de cada doscientos a cuatrocientos metros. La cantidad de muestras a extraer, aumentará en tramos heterogéneos.

En función de los suelos de la traza se establecen tres categorías de subrasante:

CATEGORIZACIÓN DE LA SUBRASANTE	
Clasificación H.R.B. del suelo	Tipo de subrasante
A-7	S-1
A-6	S-2
A-4 y A-5	S-3

7. CONDICIONES AMBIENTALES - DRENAJE

A menudo las obras viales dificultan el **drenaje superficial**, por lo que previo a la realización de cualquier mejora, resulta indispensable llevar a cabo estudios integrales en la zona en cuestión. Gran parte de la información que se requiere, puede obtenerse en las distintas reparticiones municipales, provinciales o nacionales, complementadas por datos obtenidos en el terreno y en encuestas a los habitantes del lugar.

De esta forma se pueden detectar dificultades puntuales de intransitabilidad por insuficiencia de drenaje, problemas que adquieren gravedad principalmente en zonas de planicie, como las de la región litoral.

Resulta necesario abordar los estudios básicos de impacto ambiental, que eviten o minimicen los problemas de interferencias. Es necesario procurar un correcto manejo de las cuencas de drenaje. Debe evitarse que la calle o el camino en ocasiones se transforme en un canal de conducción de las aguas superficiales. Las mejoras tendientes a dotar de transitabilidad permanente, que no sean correctamente manejadas, pueden comprometer los sistemas de drenaje.

Desde este punto de vista, tiempo seco y caluroso se asocia con alta capacidad de secado, por el contrario, tiempo frío y húmedo favorece la retención de humedad.

7.1. Determinación de la Condición de Drenaje

La permanencia de agua en la calle o camino, condiciona la estabilidad de los suelos, particularmente los de la subrasante. El secado de los mismos, varía con el estado de la atmósfera. Por este motivo, la categorización del drenaje se establece en función de la permanencia de agua y de la época del año en que tiene lugar.

NÚMERO DE DRENAJE			
Estación	Número de días con agua en las cunetas (1)	Factor de ponderación (2)	Condición de drenaje (1) x (2)
Verano		1	
Otoño		3	
Invierno		6	
Primavera		2	
Número de drenaje (sumatoria de días)			

En función del número de drenaje, se efectúa la categorización.

CATEGORIZACIÓN DEL DRENAJE	
Número de drenaje (días)	Condición de drenaje
menor de 6 entre 6 y 30 mayor de 30	Buena Regular Desfavorable

8. MATERIALES

La variedad de materiales y técnicas constructivas, ofrece una amplia gama de soluciones. La hipótesis de bajo costo inicial, impone el **máximo aprovechamiento de materiales locales**, entendiendo como tales a aquellos de **origen no comercial**. La estabilización del suelo que integra el camino, aparece como el medio apropiado para dar una primer respuesta positiva. Las mejoras dependen del uso del camino, la evolución del tránsito, la disponibilidad de recursos, entre otras variables, ya sea en cuanto a resistencia y durabilidad, como a confortabilidad.

8.1. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de **resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo**. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.

Este trabajo se apoya en experiencias realizadas en la región litoral, las que cuentan con estudios de laboratorio y de campo que las convalidan. Por ello se tratan básicamente las estabilizaciones con arena, cal, cemento, escorias y emulsión asfáltica; no obstante no se excluyen a priori otros procesos de estabilización. Sin embargo, debe destacarse **la significación** que adquiere contar con **ensayos de laboratorio**, que demuestren la aptitud y **tramos construidos** que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como el mantenimiento, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento disponible.

Bajo tránsito, implica un cambio de concepción metodológica pero no una disminución de las exigencias para el proyecto, la elección de materiales, la construcción y el mantenimiento. El **riguroso control** en el proyecto y la ejecución de cada una de las capas que integran la calle o el camino, reviste gran importancia. Sólo mediante el **aseguramiento de la calidad lograda** podrá obtenerse una estructura que preste el servicio esperado en forma económica y eficiente.

Resulta prudente en este punto realizar un comentario sobre los estabilizadores de suelos de naturaleza química. Existen en el mercado distintos productos comerciales, los que han sido probados obteniendo variado éxito. Los mismos por lo general son subproductos industriales, en la mayoría de los casos con fórmulas patentadas. El carácter habitualmente secreto de su formulación, limita las posibilidades de control por parte del adquirente. Debe obrarse con suma cautela especialmente en lo relacionado a probables daños ecológicos.

8.1.1. Generalidades. Ámbito de Aplicación

La mayoría de los suelos de la región son finos, con escasa fricción interna. La **incorporación de arenas naturales o de escorias**, producen un aumento en la resistencia friccional. En estabilizados para capas de rodamiento es conveniente no exceder un tamaño máximo de 10 mm.

En presencia de suelos arcillosos, con índice de plasticidad entre 8 y 20, el ámbito de aplicación natural es la **incorporación de cal**. Suelos con índices plásticos superiores a 20 son difíciles de desmenuzar para realizar mezclas; en tales casos se recomienda mezclar la cal en dos etapas.

La mejora producida en el suelo, dependerá del porcentaje de cal que se incorpore. Se denomina **suelo tratado con cal**, cuando sólo se pretende disminuir la plasticidad e hinchamiento del suelo, insensibilizándolo a la acción del agua. Se denomina en cambio, **suelo estabilizado con cal** cuando, además, se produce una cementación con incremento de la resistencia mecánica.

En los **estabilizados de suelo-escoria-cal**, este último agente cumple una doble función: la primera es corregir las características del suelo, la segunda es brindar un medio básico en el cual la escoria produce reacciones cementicias.

La utilización de **cemento portland**, tiene lugar cuando el índice de plasticidad del suelo es menor de 8. El problema de inestabilidad en estos casos se debe a la falta de cohesión, la cual es aportada por el cemento.

En los **estabilizados con emulsión asfáltica**, el rol de ésta es preservar el sistema cohesivo aportado por la fracción arcillosa del suelo. Esto se alcanza por la función impermeabilizante del asfalto. El ámbito de aplicación de este tipo de estabilizado corresponde a suelos que cumplan las siguientes condiciones: porcentaje que pasa tamiz 200 menor del 35% e índice de plasticidad comprendido entre 8 y 14. Además de cumplir la función de capa resistente, limita severamente la formación de polvo cuando es empleado como capa de rodamiento.

En los estabilizados precedentemente descriptos, participa un solo agente estabilizante. Por este motivo pueden denominarse estabilizaciones simples. No obstante, en muchos casos se recurre a la estabilización combinada con más de un agente. Dependerá del material existente, suelo del lugar, y la condición final deseada.

8.1.2. Materiales. Dosificación

Seguidamente se exponen **dosajes tentativos** de distintos agentes estabilizantes. Debe advertirse que para determinar el **porcentaje definitivo** es necesario realizar los respectivos **ensayos de laboratorio**.

La mejora de la fricción interna con el **aporte de arenas**, comienza a tener significación a partir de porcentajes en volumen superiores al 35%. Valores indicativos de la participación de arenas naturales se sitúan entre 45 y 50 %. Sin embargo, se ha demostrado que la mezcla de mejor comportamiento mecánico, corresponde a aquella en la que el suelo colmata los vacíos dejados por la arena compactada. En este caso el porcentaje puede oscilar alrededor del 70%.

En los **suelos tratados o estabilizados con cal**, habitualmente se emplea cal aérea hidratada en polvo. Es conveniente destacar que debe determinarse mediante ensayos, el porcentaje de cal que efectivamente está disponible para reaccionar con el suelo (cal útil vial). Si éste resulta menor del 65%, deberán efectuarse correcciones a los dosajes orientativos dados a continuación.

En los suelos tratados con cal ésta participa en aproximadamente un 2% en peso. Para suelos estabilizados con cal o cal y arenas, es común dosificar entre 3 y 5%. En éstos el valor soporte embebido calculado en la quinta penetración debe situarse entre 15 y 30%. El menor valor corresponde a la condición de resistencia mínima compatible con las condiciones de deformabilidad. El máximo corresponde a la aptitud para ser mantenido mediante perfilado.

Para los **suelos tratados con cemento** se utiliza cemento portland normal o puzolánico. La ventaja del último es su mayor tiempo de fragüe, lo que otorga tiempo adicional para las tareas de compactación y terminación. El porcentaje en peso oscila entre 3 y 5%. Debe alcanzarse a los 7 días una resistencia a la compresión simple de alrededor de 8 Kg/cm². Lograr una baja cementación es necesario para posibilitar la restauración de la lisura superficial mediante reperfilado con motoniveladora, o aún con elementos de tiro como rastras de emparejamiento. De este modo es posible la desagregación y traslado de partículas durante el perfilado superficial, así como la

integración, con una mínima compactación, al resto de la capa del material que ha quedado suelto luego del perfilado.

En los **estabilizados de suelo con escorias y cal**, el porcentaje estimativo en peso de cal se encuentra entre el 1,5 y 3%. El de escorias entre 35 y 45% en volumen. La utilización de agregados con tamaño máximo limitado al de las arenas, facilita los trabajos de mantenimiento sin desgastar prematuramente las cuchillas de motoniveladoras ni formar estrías sobre la calzada. Además, tamaños de agregados mayores a un centímetro, al ser despedidos por la acción del tránsito, pueden provocar daños a los vehículos, así como a personas.

Debe obtenerse un valor soporte embebido en la quinta penetración entre 15 y 25%. El valor máximo se debe, al igual que en los estabilizados con cemento, a la importancia de lograr una baja cementación.

En los **estabilizados con emulsión asfáltica**, se utiliza emulsión de rotura lenta, con preferencia de aquellas especialmente formuladas para la estabilización de suelos finos. Dadas las características de los suelos de esta zona, debe realizarse una primera mezcla con arena. Es recomendable la utilización de arenas gruesas, con módulo de fineza mayor de 2,2.

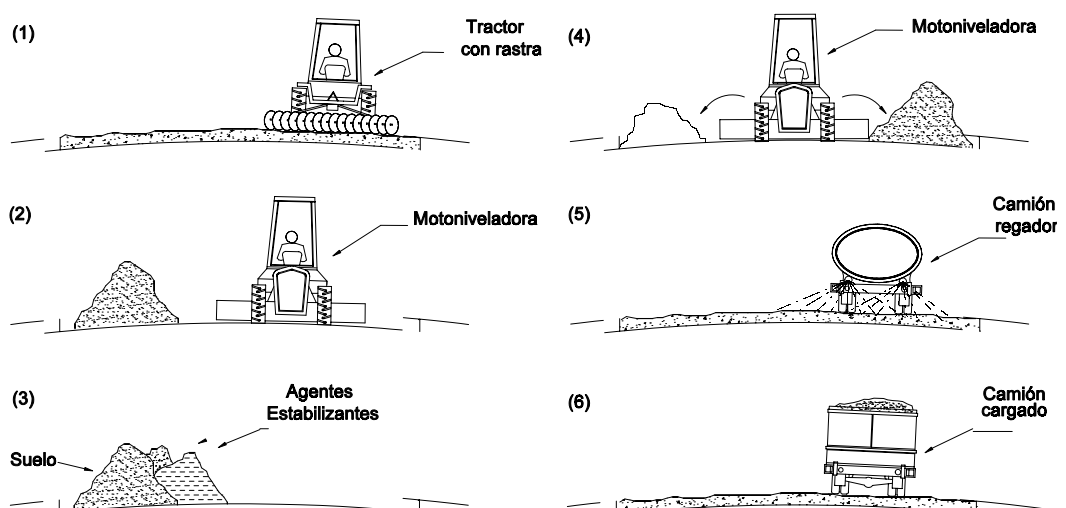
La dosificación del suelo-arena se realiza de manera que el suelo colmate los vacíos dejados por la arena compactada. Para la dosificación de la emulsión se adopta el ensayo de absorción por capilaridad. Se admite como criterio de dosaje, aquel que permita como máximo una absorción del 12% de la absorción registrada en la mezcla de suelo y arena sin emulsión. En ambos casos, para un período de embebimiento de siete días.

8.1.3. Procedimientos Constructivos

Los procedimientos constructivos dependen principalmente del equipamiento disponible. El mezclado puede realizarse en planta central, con mezcladoras ámbulo-operantes, equipos agrícolas. La compactación se lleva a cabo con rodillos pata de cabra y neumáticos; de no contarse con éstos podrán utilizarse camiones cargados, siempre que las exigencias de tránsito futuro lo admitan.

A continuación, y a modo de ejemplo, se describe un procedimiento constructivo simple, con equipos disponibles en la mayoría de comunas o municipios.

Las mezclas de **suelos con arenas** naturales o de escorias, con **cales** o **cementos** se realizan en el camino. Para ello el primer paso es **roturar el suelo mediante escarificado o arado** (1). La profundidad dependerá de los espesores de diseño del estabilizado. El equipamiento necesario se limita a motoniveladoras con escarificadores y rastras de disco de uso agrícola.



El desmenuzado y uniformado antes del mezclado con material corrector, es esencial para lograr una adecuada homogeneidad.

La incorporación de **cal** o **cemento**, se realiza mediante la disposición de las bolsas en el camino, en cantidad necesaria. Se abren y distribuyen superficialmente en forma manual, cubriendo al suelo con una capa lo más uniforme posible. Para facilitar las tareas de mezclado, es conveniente trabajar con bajos contenidos de humedad. Se recomienda que ésta sea, como máximo, dos puntos menor a la humedad óptima de compactación. El mezclado se realiza en forma similar al del suelo con la arena, es decir mediante la formación de caballetes y pasadas de motoniveladora o rastras de disco, hasta obtener una mezcla completa, íntima y uniforme de todos los materiales y de apariencia homogénea(2)(3)(4). A continuación, se le adiciona la cantidad de agua necesaria hasta llegar a la humedad de compactación (5).

En un **suelo o suelo-arena-emulsión asfáltica** es necesario asegurar el mezclado efectivo de la emulsión antes de que se produzca su rotura. Esto se logra con un contenido de humedad total, superior a la humedad de compactación. Se entiende por tal a la suma del agua de premezclado (humedad del suelo o suelo-arena) más el agua de la emulsión. Este adicional de humedad requerido es menor, cuanto mayor sea la energía de mezclado empleada. Por ello es aconsejable la utilización de mezcladores ámbulo-operantes.

La **compactación** se realiza mediante rodillos pata de cabra y neumáticos para sellar y alisar la superficie. Si no se dispone en zonas rurales de equipos específicos como los enunciados, se puede efectuar la compactación mediante pasadas sucesivas de camiones cargados (6).

Inmediatamente de concluido el proceso de compactación, debe realizarse el **curado** del estabilizado. En los suelo tratados o estabilizados con cal, cemento o escoria, el curado consiste en mantener la superficie húmeda durante un mínimo de 48 horas. Esto se logra mediante riegos de agua. En los estabilizados con emulsión asfáltica, debe evaporarse parte del agua de la mezcla. Esto da como resultado un aumento de la resistencia mecánica de la capa, debido al incremento de la cohesión aportada por la fracción arcillosa del suelo. Si bien el tiempo necesario para lograr la mayor resistencia mecánica puede prolongarse por varios meses, la habilitación al tránsito se realiza una vez finalizado el proceso de compactación.

8.2. Cubiertas asfálticas delgadas

Cuando presenta un inconveniente la formación de polvo o cuando el objetivo es mejorar lo ya existente, es factible la construcción de cubiertas asfálticas delgadas o, más específicamente, de un **tratamiento bituminoso superficial**.

El mismo consiste, genéricamente, en la extensión de un material asfáltico sobre una superficie preparada a tal efecto. Puede contener materiales pétreos; en tal caso el espesor no excede de 20mm. Su finalidad es **impermeabilizar la superficie** sobre la que se aplica, **proveer resistencia a la abrasión** del tránsito y proporcionar una **superficie más confortable**. Normalmente se considera que estas capas **no aportan capacidad estructural** adicional.

Existen distintos tipos, según sea la superficie sobre la cual se apliquen y la finalidad que persigan.

8.2.1. Riegos Asfálticos

Los **riegos asfálticos sin aplicación de material pétreo** pueden ser:

- **Riego paliativo de polvo**: se aplica para disminuir temporariamente la formación de polvo.
- **Riego de curado**: se aplica sobre capas de suelos estabilizados con agentes hidráulicos (cal, cemento, escoria-cal) con el objeto de preservar la humedad necesaria para que se produzcan las

reacciones fisicoquímicas propias de estos estabilizantes.

- **Riego de imprimación:** se aplica sobre superficies no asfálticas que deben prepararse para recibir otro riego asfáltico. Su función es cerrar la superficie de modo que la segunda aplicación no se infiltre, quedando disponible para su función específica.

- **Riego de liga:** se aplica sobre un riego de imprimación o sobre capas asfálticas. Su función es vincular una capa con una mezcla asfáltica.

Los **riegos asfálticos con aplicación de material pétreo** consisten en aplicaciones de material bituminoso sobre una superficie previamente acondicionada, seguida de una distribución de agregados pétreos que se adhieren a éste. Se logra de este modo, una superficie relativamente impermeable y resistente a la abrasión del tránsito.

- **Riego de imprimación reforzada:** consiste en una primera imprimación simple; una vez que ha secado, se efectúa una segunda aplicación de material bituminoso, seguida de una distribución de arena.

- **Riego de sellado:** consiste en una aplicación de material bituminoso seguida de una distribución de arena. Normalmente se lo emplea sobre superficies asfálticas (mezclas asfálticas o suelo-arena-emulsión).

- **Tratamiento superficial tipo simple:** consiste en una aplicación de material bituminoso seguida de una distribución de agregado pétreo.

- **Tratamiento superficial tipo doble:** consiste en dos aplicaciones de material bituminoso, cada una de ellas seguida de una distribución de agregado pétreo. En general el tamaño nominal del primer agregado es el doble del segundo. La granulometría de estos áridos tiene una gama de tamaños muy estrecha.

- **Tratamiento superficial múltiple:** consiste en tres o más aplicaciones de material bituminoso, cada una de ellas seguida de una distribución de agregado pétreo de menor tamaño.

Materiales - Dosificación

El **material bituminoso** puede ser diluido o emulsionado, sin embargo razones ecológicas y económicas, indican la conveniencia de emplear preponderantemente materiales bituminosos emulsionados. Sus características y dosificación dependen del tipo de riego a realizar.

En el siguiente cuadro se resumen tipos de material y dosajes orientativos.

DOSAJES PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES			
Tratamiento	Tipo de emulsión	Dosaje en litros/m ²	
		Emulsión	Agregado pétreo
Riego paliativo de polvo	ERL-1	0,5 a 2	---
Riego de curado	ERM-1	1 a 1,5	---
Riego de imprimación	ERM-1	1 a 1,5	---
Riego de liga	ERR-1 o ERR-2	0,4 a 0,6	---
Imprimación reforzada	ERM-1	1 ^a apl. 1 a 1,5 2 ^a apl. 0,5 a 0,8	2 a 5
Riego de sellado	ERM-1	0,8 a 1,6	2 a 5
Tratamiento simple	ERR-1	1,2	6 a 10
Tratamiento doble	ERR-2	1 ^a apl. 1,5 2 ^a apl. 1,8	1 ^a apl. 16 a 20 2 ^a apl. 3 a 5

Nota: ERL-1 emulsión bituminosa de rotura lenta grado 1. ERM-1 emulsión bituminosa de rotura media grado 1. ERR emulsión bituminosa de rotura rápida grados 1 o 2. El grado expresa el tenor de cemento asfáltico residual.

Los **materiales pétreos** para los riegos de **imprimación reforzada** y de **sellado**, pueden ser arenas naturales. Los utilizados para los tratamientos simples y múltiples, por lo general provenientes de la trituración de rocas con dos o más caras de fractura. Debe estar constituidos por partículas duras, resistentes, durables, no alargadas, limpias y exentas de arcilla u otras materias extrañas.

La granulometría del agregado pétreo debe encuadrarse dentro de los siguientes límites:

GRANULOMETRÍAS PARA TRATAMIENTOS							
Tipo	Porcentaje que pasa tamiz						
	3/4"	5/8"	1/2"	3/8"	1/4"	1/8"	Nº 40
A	100	90-100	40-70	0-15	0-2	--	--
B	--	100	90-100	40-70	0-10	0-3	--
C	--	--	--	90-100	40-70	0-10	0-3

8.2.2. Lechadas Asfálticas

Consiste en una mezcla de arenas, polvo mineral, emulsión asfáltica y agua, de consistencia semilíquida, que permite ser distribuida sin que se escurra ni segregue. El espesor depende del tamaño máximo del agregado pétreo, por lo general entre 4 y 10 mm.

Materiales - Dosificación

Se utiliza **emulsión bituminosa** de rotura lenta. Sus características se determinan en función de los agregados pétreos, tránsito, clima y de los equipos a utilizar en obra.

Los **agregados pétreos** están constituidos por arenas de trituración, arenas naturales o una combinación de ambas. El relleno mineral comúnmente empleado es cemento portland, cales en polvo, polvo de rocas calcáreas etc. Cumplen con la finalidad de regular la rotura de la emulsión, espesar la mezcla y proveer determinadas características resistentes a la mezcla.

GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS PARA LECHADAS ASFÁLTICAS								
Tipo	Porcentaje que pasa tamiz							
	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
A	100	100	90 - 100	65 - 90	40 - 60	25 - 42	15 - 30	10 - 20
B	100	90 - 100	65 - 90	45 - 70	30 - 50	18 - 30	10 - 21	5 - 15
C	100	70 - 90	45 - 70	28 - 50	19 - 34	12 - 25	7 - 18	5 - 15

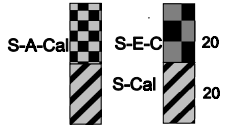
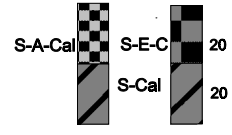
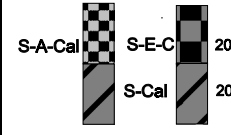
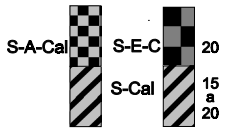
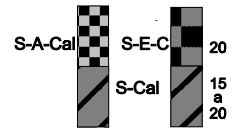
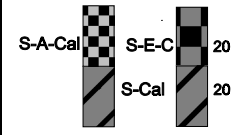
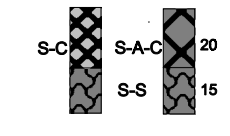
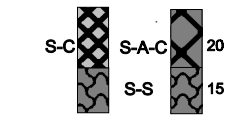
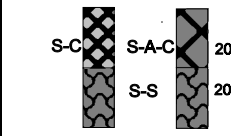
DOSAJES PARA LECHADAS ASFÁLTICAS			
Tipo	Kg agregado/m ²	Asfalto residual (%)	Espesor de referencia (mm)
A	2,5 - 5	10 - 16	3
B	5,5 - 8	8 - 13,5	6,5
C	8 - 13,5	6,5 - 12,5	9,5

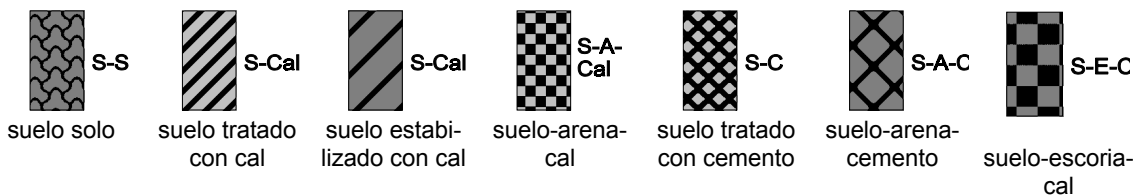
9. DISEÑO ESTRUCTURAL

Se presenta a continuación una serie de estructuras probadas en experiencias realizadas en la región litoral argentina. Parten de la estabilización del suelo del lugar en un sistema bicapa. Este se constituye con la subrasante y una capa estabilizada. Las experiencias han indicado que los espesores de estabilización se encuentran entre 15 y 20 cm.

TRÁNSITO		T1		
Condición de drenaje		Buena	Regular	Desfavorable
SUBRASANTE	S1	S-Cal 15 S-S 15	S-Cal 20 S-S 15	S-Cal 20 S-Cal 15
	S2	S-Cal 15	S-Cal 20	S-Cal 20 S-Cal 15
	S3	S-C 15	S-C 15	S-C 20

TRÁNSITO		T2		
Condición de drenaje		Buena	Regular	Desfavorable
SUBRASANTE	S1	S-A-Cal 15 S-E-C 15 S-Cal 15	S-A-Cal 15 S-E-C 15 S-Cal 20	S-A-Cal 20 S-E-C 20 S-Cal 20
	S2	S-A-Cal 20 S-E-C 20 S-S 15 a 20	S-A-Cal 20 S-E-C 20 S-Cal 15	S-A-Cal 20 S-E-C 20 S-Cal 20
	S3	S-C 20	S-C 20 S-S 20	S-C 20 S-S 20

TRÁNSITO		T3		
Condición de drenaje		Buena	Regular	Desfavorable
SUBRASANTE	S1			
	S2			
	S3			



El suelo de la subrasante puede o no ser compactado previo a la estabilización. Se requiere hacerlo cuando el camino no ha tenido tránsito de alguna significación y la conjunción de tránsito y suelo así lo aconsejen. En tales casos, estas operaciones tienen lugar en espesores entre 15 y 20 cm.

La selección de estructuras se plantea a través de tres variables: el **tránsito**, el **tipo de suelo** y la **condición de drenaje**. Correspondería realizar una adecuación a las mismas en función de la construcción por etapas.

9.1. Ajustes al Diseño para Calzadas Urbanas

Las estructuras planteadas corresponden a calzadas de aplicación en el ámbito rural. El traslado de tales soluciones al **medio urbano**, trae aparejado molestias por formación de polvo, que afectan a transeúntes y vecinos. Por esta razón, en algunos casos **es necesario ejecutar una cubierta que limite la formación de polvo**.

Las cubiertas asfálticas cumplen con esta finalidad. No obstante, la mayor parte de las estructuras propuestas, registran niveles de deformación incompatibles con cubiertas asfálticas delgadas. Por otra parte éstas no controlan adecuadamente las fallas tipo nido de gallina. Por estos motivos se debe **adecuar la estructura** desde dos puntos de vista: el de la **deformabilidad** y el de la **erosión** de la base. En el primer caso se debe a que el mantenimiento ya no podrá realizarse mediante perfilados periódicos. En el segundo se trata de prevenir las fallas tipo "nido de gallina".

La ponderación de la molestia por formación de polvo, debe ser considerada sobre la base de la modalidad de uso de la calle, el área urbana a la que sirve y a las condiciones de ocupación de los terrenos linderos.

Debe enfatizarse que para este tema existe una extensa gama de soluciones, por lo que en muchos casos la técnica se superpone con el ámbito de aplicación de la construcción por etapas. Por lo tanto

las adecuaciones que se mencionan a continuación, sólo corresponden a algunos casos comunes y con experiencia práctica en la región.

La formación de polvo es, ante todo, producto de material fino no cohesionado y relativamente elevada velocidad de circulación vehicular. Las soluciones pueden atender a ambos aspectos. En calles de muy bajos volúmenes de tránsito, la construcción de lomos de burro contribuye a disminuir la velocidad de circulación. No obstante esta solución es molesta para el usuario de la calzada, por lo que es preferible recurrir a cohesionar las partículas finas o a aislarlas del contacto con los neumáticos.

Los riegos de agua como paliativo de polvo, suelen ser onerosos, particularmente en el verano cuando la evaporación es elevada. Una solución que se ha practicado con éxito, ha sido incorporar al agua de riego una cantidad de emulsión asfáltica. Pequeñas cantidades de cemento asfáltico se depositan en los centímetros superiores de la capa de rodamiento. La alternancia de riegos de esta naturaleza y los de agua, ha demostrado su aptitud para disminuir la frecuencia de mantenimiento por riegos de agua. Las dosificaciones empleadas se encuentran en el orden de 200 litros de emulsión asfáltica en 5000 litros de agua, es decir, diluciones de aproximadamente 1/25.

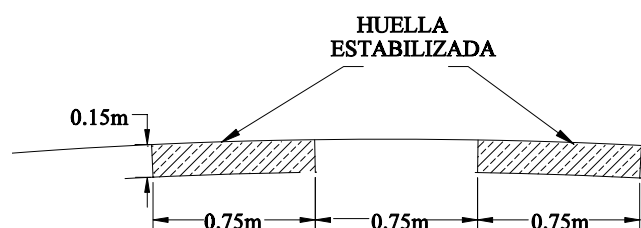
En los casos de **estabilizados a partir de cal y arenas**, puede plantearse la superposición de una capa de **estabilizado con emulsión asfáltica**. Para ello puede recurrirse a nuevos materiales o bien efectuar el reciclado parcial de la capa de rodamiento. En este último caso con las correcciones necesarias mediante adiciones de arena y/o suelo cohesivo. Esta capa en sí constituye una buena solución para una **capa de rodamiento antipolvo**. El espesor de la misma varía entre 5 y 10 cm, dependiendo de las condiciones de tránsito y capacidad portante del resto de la estructura. El secado paulatino de la capa permite que su resistencia mecánica se incremente. En determinado momento puede encontrarse en condiciones de recibir una cubierta asfáltica delgada. Esta puede estar constituida por: riego asfáltico, imprimación reforzada, lechada asfáltica o tratamiento bituminoso superficial.

Las capas de rodamiento tratadas con cemento, pueden reciclarse en algunos centímetros, (4 a 8) para incorporarles alrededor de un 50% de arena y una nueva incorporación de cemento. Esto implica generar una capa de entre 7 a 11 cm. La adición de arenas de trituración, de escorias o de rocas naturales, ha demostrado un buen comportamiento en la prevención de la formación de nidos de gallina. La nueva adición de cemento no debe producir una excesiva rigidización de la estructura. A continuación puede ejecutarse una cubierta asfáltica delgada.

9.2. Ajustes al Diseño para Calzadas en Predios Rurales (Técnicas Tranquera Adentro)

Algunas de las soluciones estructurales, son de aplicación en los caminos interiores de las propiedades rurales. Se pueden ejecutar mediante el empleo de equipos agrícolas. Las rastras de discos y otros implementos tienen aptitudes para roturar el suelo y, además, producir el mezclado de agentes estabilizantes. A su vez un tractor puede disponer de una hoja de nivelación o en su defecto arrastrar una viga metálica para regularizar la superficie de suelo suelto.

La técnica con rastra de disco consiste en “arar” el camino, en un ancho tal que supere el de la huella de los vehículos que circulen por él. Luego de desmenuzando el suelo se adiciona el material



estabilizante sólo en las huellas. Se realizan las tareas de mezclado con el mismo equipo, se regulariza la superficie con una rastra plana lastrada y se compacta mediante el pasaje de vehículos pesados.

De este modo soluciones concebidas para calles y caminos, encuentran aplicación empleando maquinarias disponibles en el propio ámbito rural. Ello facilita la construcción por etapas al utilizar equipos cuando

no se los emplea en las tareas agrícolas.

Dado el exiguo tránsito la estabilización puede plantearse en espesores inferiores a los indicados para las estructuras básicas. Por ejemplo la estructura E-1 puede ejecutarse en 10 cm de espesor. Con el mismo criterio es factible aplicar las restantes soluciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Musuruana E., Perin A. y Martini A. "Mezclas arena-suelo-emulsión asfáltica". XIV Reunión Anual de la C.P.A. Argentina. Año 1966.
- Nardelli D., Mozetich L y Braccialargue R. "Emulsiones bituminosas, su utilización en obras de la provincia". XIV Reunión Anual de la C.P.A. Argentina. Año 1966.
- Benedict R., Prato H. "Diseños estructurales económicos de caminos de la red terciaria" Dirección: Ing. J. Páramo. Reunión regional interamericana de la I.R.F. Tomo 1. Buenos Aires. Año 1980.
- Noste M. "Empleo de suelos estabilizados con escoria siderúrgica y cal en caminos de la red terciaria. Aspectos técnico-económicos" Dirección: Ing. J. Páramo. Proyecto final de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Rosario. Año 1980.
- Lucciarini G., Luna H. "Empleo de suelos estabilizados con escoria siderúrgica y cal en caminos de la red terciaria. Parte III: Proyecto, construcción y evaluación del comportamiento de tramos experimentales" Dirección: Ing. J. Páramo. Proyecto final de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Rosario. Año 1983.
- Vera L., Troiano R. "Diseños estructurales económicos para caminos de la red terciaria. Parte IV: Empleo de suelos estabilizados con escoria de acería y cal - Determinación del aporte friccional de la escoria" Dirección: Ing. J. Páramo. Proyecto final de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Rosario. Año 1985.
- Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de Norteamérica. "Tecnología del asfalto y prácticas de construcción. Guía para instructores". Año 1985.
- Poncino H., Cassan R., Coirini G. "Caracterización de materiales tratados con ligantes hidráulicos. Su aplicación al dimensionamiento de pavimentos flexibles". 4º Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto. México, 1987.
- Musuruana E., Rosasco S. "Las emulsiones asfálticas en las construcciones viales". Capítulo V. Año 1988.
- Poncino H., Cassan R. "Caracterización elástica de estabilizados con escoria de alto horno y cal". 5º Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto. Uruguay. Año 1989.
- Poncino H., Cassan R., Petroni E. "Comportamiento mecánico y dimensionamiento estructural de los estabilizados suelo-arena-emulsión asfáltica". 6º Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto. Santiago de Chile, Año 1991.
- Del Val Melus M.A., Bardesi Ore-Echevarría A. "Manual de pavimentos asfálticos para vías de baja intensidad de tráfico". Madrid. Año 1991.
- Páramo J. y otros "Pautas para la recuperación de caminos de la red terciaria". Publicación de la Fundación Renacimiento. Rosario. Año 1992.
- Páramo J., Poncino H. y Cassan R. "Soluciones económicas para calles y caminos de bajo tránsito (1ª Parte)". XXVII Reunión del Asfalto. Buenos Aires. Año 1992.
- Páramo J., Poncino H. y Cassan R. "Soluciones económicas para calles y caminos de bajo tránsito (2ª Parte)". 6º Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto. Venezuela. Año 1993.
- Páramo J., Poncino H. y Cassan R. "Sobre la asistencia técnica a municipios en el tema de soluciones económicas para calles y caminos de bajo tránsito". 2ª Reunión anual de Centros I.P.C. de Transferencia de Tecnología. Santiago de Chile. Año 1993.